水稻栽植密度對生長行為與穀粒產量之影響

蕭巧玲、楊純明*、李裕娟
行政院農業委員會農業試驗所作物組

摘要

本項研究以稉稻臺農 67 號為試驗材料，分別於 2006-2007 年兩期稻作栽培期間進行田間試驗，以探討不同栽植密度(由 0.28 × 10^5 hill ha^{-1} 至 2.78 × 10^5 hill ha^{-1}，計 8 種密度)對水稻生長行為與穀粒產量之影響。綜合兩年四期稻作試驗資料，顯示稻株生長性狀在生育期間呈現二次曲線變化，大致隨著單位面積栽植密度的升高各性狀測值均有增加的趨勢，無論株高(PH)、葉片數(LN)、葉面積(LA)與葉面積指數(LAI)皆然，且一般以一期作較高於二期作。進一步由 50%抽穗時期所量測之生長性狀間比較，除了 PH 似不受栽植密度高低影響之外，LN、LA 及 LAI 等三性狀測值亦隨著栽植密度升高而增加，約在密度 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 範圍達到高原，而一期稻作測值多大於二期稻作。稻株之 PH 伸長至成熟期才達到高峰，LN、LA 及 LAI 等三性狀在生育期間之最大生長量則約出現於抽穗前後，惟各栽植密度之性狀最大值並不相同。除了 PH 之外，此三生長性狀最大值亦大致隨著栽植密度升高而增加，多在 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 栽植密度範圍達到高原期，然而同一性狀最大值在年份及期作之間存在差異。各栽植密度之生長性狀最大值出現的時間並不相同，除了 PH 之外，LN、LA 及 LAI 等三性狀低栽植密度之最大值出現所需天數大多長於高栽植密度者，尤以一期稻作最為明顯，且約在密度 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 範圍趨近固定。又在相同栽植密度下，此三生長性狀在二期稻作達到最大值所需天數通常短於一期稻作者。試驗又顯示，水稻葉面積持續期間(LAD)隨著栽植密度的升高而增加，直至密度 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 時漸趨和緩。分析穀粒產量與 LAD 之關係，發現穀粒產量隨著葉面積持續期的延長而增加，兩期稻作表現雷同。

關鍵詞：行株距、栽植密度、環境效應、生長性狀、穀粒產量。

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw

投稿日期：2009 年 5 月 15 日
接受日期：2009 年 6 月 3 日
作物、環境與生物資訊 6:101-112 (2009)
Crop, Environment & Bioinformatics 6:101-112 (2009)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41362, Taiwan ROC

Effects of Cultivation Density on Growth Behavior and Grain Yield of Field-gown Rice

Chiao-Ling Hsiao, Chwen-Ming Yang* and Yuh-Jyuan Lee

Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 41352, Taiwan ROC

ABSTRACT

Field experiments were conducted to study the effects of cultivation density, from 0.28 to 2.78 × 10^5 hill ha^{-1}, with eight planting densities, on growth behavior and grain yield of rice (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in both cropping seasons of 2006 and 2007. Results showed that changes of plant height (PH), leaf number (LN), leaf area (LA) and leaf area index (LAI) were in a nonlinear trend during the growing periods of rice plants. Generally values of growth traits increased with the increasing cultivation densities, and a higher level of growth curves was observed in first crops than in second crops. Based on the

data collected from the 50% heading, PH was not affected by variation of cultivation density while a curvilinear pattern was shown in the relations of values of LN, LA and LAI with cultivation densities. The values of these growth traits (GTs) reached the plateau in range of 1.8-2.2 × 10^5 hill ha^{-1}, and plants grown in first crops had a higher value than those plants grown in second crops under the same cultivation density. Plant height continued to grow until grain maturing period, while the maximum values of LN, LA and LAI appeared near heading. The peak values of the measured GTs were affected by cultivation density; first increased with the increase of density, reached the plateau near 1.8-2.2 × 10^5 hill ha^{-1}, and then decreased with the further increase of density. Cultivation density also affected the time period required to reach the peak values of these GTs. Except PH, LN, LA and LAI of lower cultivation densities required a longer time period to obtain their maximum values until the density closed to 1.8-2.2 × 10^5 hill ha^{-1} range, especially for plants grown in the first cropping seasons. Under the same cultivation density, plants of second crops required less days to reach their maximum values than those plants grown in first crops. The leaf area duration (LAD) increased curvilinearly with cultivation density and climbed to the peak until in the range 1.8-2.2 × 10^5 hill ha^{-1}. The relationship between grain yield and LAD was not linear, grain yield improved with increasing LAD curvilinearly in both crops.

Key words: Planting distance, Cultivation density, Environmental effect, Growth trait, Grain yield.

前言

遺傳、環境與栽培管理係決定農作物生長良窳與產量高低的三大要素，而作物栽植密度又是栽培管理中一項重要因子。不同的栽植密度將影響葉片數、葉面積、植株形態及族群結構，改變植冠(canopy)內空間構造、光輻射分佈及植株間對自然資源的競爭，進而對農作物的生長、發育與產量造成不同層次的效應(Maddonni *et al.* 2001, Bhular *et al.* 2002)。大致言之，單位農地面積內各單株將因為栽植密度的提升使得葉片之間相互遮蔭擴大、競爭增強，產量則因為葉面積與葉片數增加有利於提高光合作用，然而當栽植密度增加至臨界極限後，生長與產量將雙雙呈現下降趨勢。

Wang *et al.* (1997)利用三種不同栽植密度探討小麥穀粒充實期植株各部位之光合作用速率，發現葉片與葉鞘的光合速率因栽植密度而異，尤其葉鞘的光合速率將因提高栽植密度而明顯降低。Bhular *et al.* (2002)在甘蔗的三種不同栽植密度試驗，也發現每公頃分蘗數隨著密度提高而增加，蔗糖含量與純度則不因栽植密度而有顯著改變。Danalatos *et al.* (2007)對巨型禾草(*Miscanthus giganteus*)的栽植密度研究，顯示分蘗數隨著密度上升而增加，然栽植密度達 10,000 plants ha^{-1}時分蘗數即不再增加，而當密度提高至 20,000 plants ha^{-1} 時甚至出現分蘗數減少現象。Schäfer and Honermeier (2006)針對大麻(*Cannabis sativa* L.)植株高度與栽植密度關係的試驗結果，推測栽植密度增加引起株高下降的原因可能係物種內部競爭(intraspecific competition)造成，影響了植體纖維細胞的延長與張力表現。Pospišil *et al.* (2000)於三種栽植密度對甜菜生長影響的研究，指出發芽率及花莖抽出時的葉面積並不受栽植密度的影響。而 Wang *et al.* (1997)在晚播小麥劍葉的研究報告上，則顯示光合速率並不隨栽植密度變化。由此可見，栽植密度對農作物生長性狀及生理代謝的影響，將因為作物種類、植株部位、生育時期及其他原因而有差異。

葉面積(leaf area, LA)與葉面積指數(leaf area index, LAI)乃常用之生長參數，用來表示生長速率、生長容量及生長狀態。在植株生長初期此兩參數增加緩慢，至快速生長期則呈現直線或指數型上升，俟達到最大值時即不再增加甚至隨著成熟老化過程逐漸下降(Potter and Jones 1977, Maddonni *et al.* 2001)。每種作物於其生育過程中通常有其最適 LAI 或 LAD (leaf area duration)，在此條件下可獲得最佳生長表現乃至於最大可能之

生產潛能。惟該最適 LAI 數值隨著栽培環境變動，且必須配合提供充分資源，因此栽培管理作法需要隨時調整以獲得值高而持續的 LAI。Pospišil *et al.* (2000)指出栽植密度未明顯影響甜菜之單株葉面積，但 LAI 則隨著栽植密度的提高而增加，生育期間的 LAI 高峰出現於開花期。Maddonni *et al.* (2001)的玉米研究顯示，不同栽植密度(30,000、90,000 及 120,000 plants ha^{-1})下單葉葉面積的增加與單位面積內的葉數有關，單位面積內族群數量增加將會減少單葉葉面積，但株數及葉片數的增加仍可提高單位面積的總葉面積。當單位面積之栽植密度增加至臨界上限時，儘管總葉面積仍可能持續上升，由於葉片之間相互遮蔭與覆蓋等原因，LAI 則無明顯改變，植冠內的光輻射亦開始大幅衰減(light attenuation)。如此將減少冠層內葉片的截光率(Manrique *et al.* 1991)，由於截光率與光合作用能力密切關聯，因此削弱的截光率將減少光合產物的生成。

作物族群栽植密度之設定，取決於可獲得生產物的數量或價值，一般以獲得該作物最主要生產目標之最大總量為最適之栽植密度。通常單位產量會隨著栽植密度的提高而增加，因為單位面積增加的株數大幅貢獻於生產物的收穫(Fischer and Wilson 1975)，然而達最高單位面積產量與最高單株收量之栽植密度未必相同(Sangoi *et al.* 2002)，最高單株收量之栽植密度大多低於最高單位產量之栽植密度。過高的栽植密度可能會造成不結實率增加、開花時間延長及單株粒數減少等問題，而不利於單位產量(Sangoi *et al.* 2002)。例如棉花的種子產量會因為過高栽植密度而減少，原因在於葉片相互遮蔭而降低生產潛能，甚至品質亦因此而下降(Sawan *et al.* 2001)。因此，合適的栽植密度係農作物栽培相當重要的條件之一，決定最適栽植密度則為欲獲得最佳生產的前提，必須經由試驗資料決定。以甘蔗而言，蔗莖為最主要收穫目標，因此可收獲最大蔗莖產量之每公頃750,000 株即為最適甘蔗植株之栽植密度(Bhullar *et al.* 2002)。另外，每公頃 80,000 株並採雙行種植，為甜菜收獲最大種子產量之最適栽植密度(Pospišil *et al.* 2000)；每公頃 150,000-200,000 植株並配合水分管理，則為高粱收獲穀粒產量之最適栽植密度(Berenguer and Faci 2000)。

本研究以水稻臺農 67 號為試驗材料，利用調整栽植行株距得到不同栽植密度，據以探討栽植栽植密度對稻株生長行為及穀粒產量之影響，並進一步探究環境效應形成之期作與年份間差異，再藉以篩檢出獲得最高穀粒產量之最佳栽植密度，作為改進栽培管理之參考。

材料與方法

本研究於臺中縣霧峰鄉之行政院農業委員會農業試驗所農場進行，以稉稻臺農 67 號品種為試驗材料，分別於 2006 及 2007 年實施二年四期作田間試驗。研究旨在探討不同栽植密度對稻株生長、發育與產量之影響，其中 2006 年一、二期稻作計有 0.28、0.56、1.11、1.39、1.59、1.85、2.22 及 2.78×10^5 hills ha^{-1} 等 8 種栽植密度，2007 年一期稻作有 0.28、0.56、1.11、1.59、1.85 及 2.78×10^5 hills ha^{-1} 等 6 種栽植密度，2007 年二期稻作則僅有 1.11、1.85、2.78×10^5 hills ha^{-1} 等 3 種栽植密度。當秧苗培育至 3-4 葉齡時，以人工單本植南北向插秧，各處理小區依序鄰接，每一處理小區 6 m × 20 m，，三重複。試區平均酸鹼值 pH 5.36，有機質含量 2.21%，土壤質地為壤土。

稻田於插秧前先施以臺肥39號複合肥料($N:P_2O_5$: KCl = 12%:18%:12%，臺灣肥料公司，高雄市) 200 kg ha^{-1} 為基肥，接著施用兩次硫酸銨(21% N，200 kg ha^{-1})作為追肥，第一次施於插秧後 2-3 週，第二次施用於插秧後 5-6 週，再於抽穗前 1-2 週施用臺肥 39 號複合肥料 200 kg ha^{-1} 為穗肥。插秧前施灑苦茶粕 100 kg ha^{-1} 防除福壽螺，插秧後以 8%

丁拉殺丹粒劑 30 kg ha-1 防除雜草，又於插秧後 3 週以人工除草一次。病蟲害管理以 10%維利黴素 0.5 L ha-1 及 10%克枯爛可濕性粉劑 1 L ha-1 防治紋枯病與白葉枯病，以 6%培丹粒劑 30 kg ha-1 防治瘤野螟與二化螟蟲，另以 40%加保扶水懸劑 1.2 L ha-1 千倍稀釋液防治其他害蟲。

水稻生育期間分別於秧苗移植期、移植後 30 天、50%抽穗、抽穗後 21 天及收穫進行 5 次稻株取樣，每處理小區取樣 4 株，以調查包括株高、葉片數、葉面積、葉面積指數及地上部植體各部位(分為葉片、桿、穗三部分)鮮重與乾重等 10 項生長性狀。又計算水稻全生育期之葉面積持續期間(LAD；單位 m^2 season^{-1})，係先繪製 LA 之全生育期迴歸曲線，再將各生育天數之 LA 累加得到。收穫時每處理小區割取 10 m^2 小區二塊，秤取穀粒鮮產量及烘乾產量(40℃烘乾 120 h)，取平均值為小區代表值。試驗資料以 SAS 軟體(Version 8.1, SAS Institute 1998)統計分析，又以 SigmaPlot (Version 10.0)統計繪圖軟體繪製圖形。

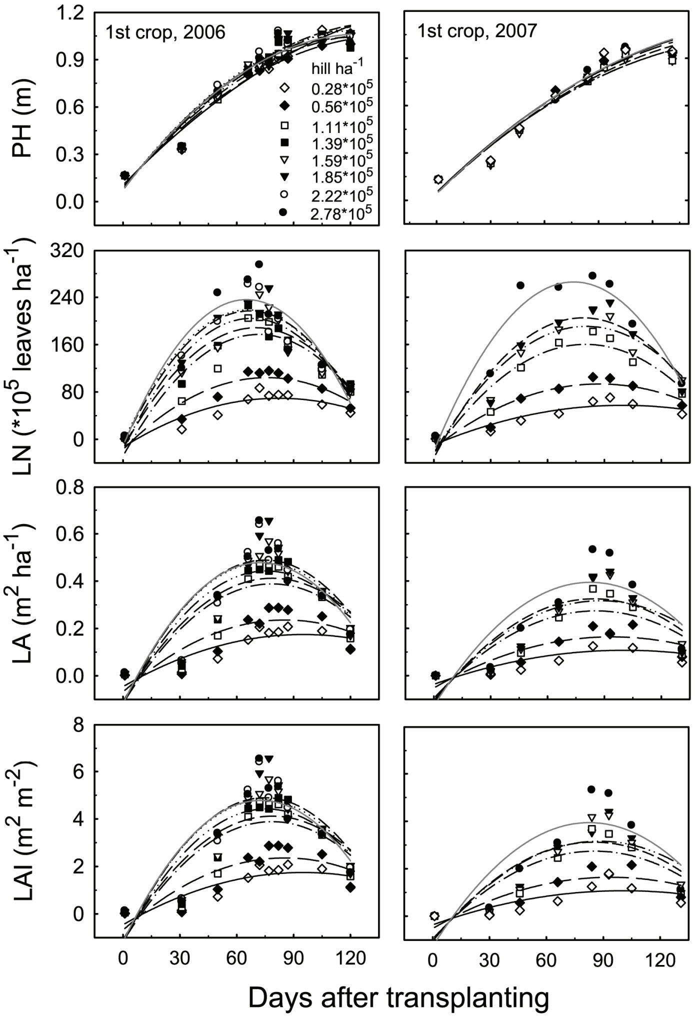

Fig. 1A.Changes in growth traits of rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first cropping season of 2006 and 2007. PH: plant height; LN: leaf number; LA: leaf area; and LAI: leaf area index.

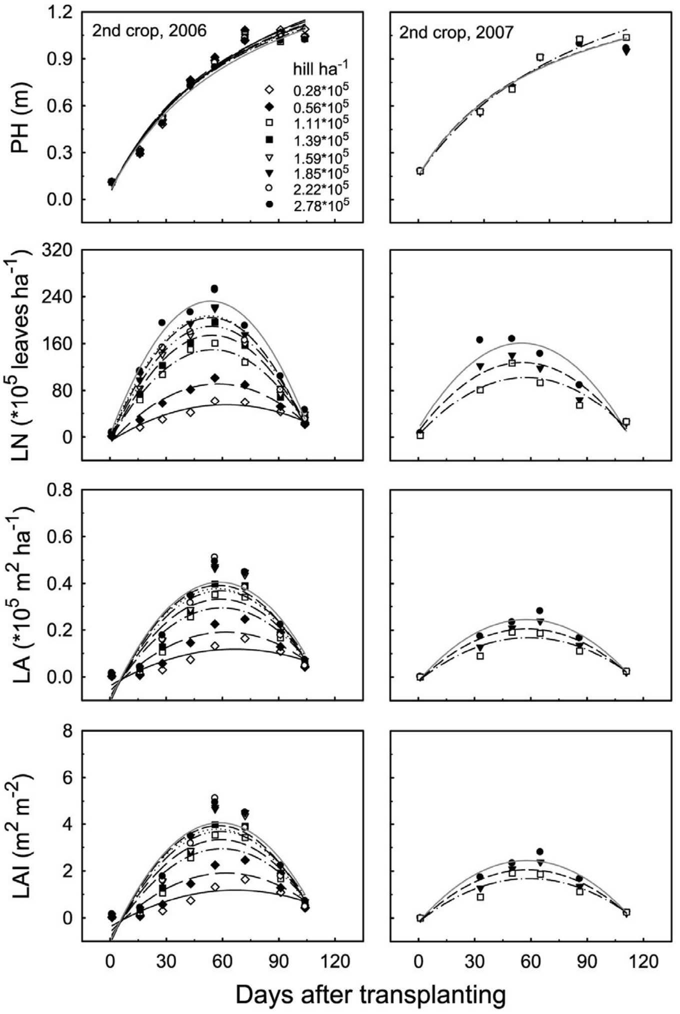

Fig. 1B. Changes in growth traits of rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the second cropping season of 2006 and 2007. PH: plant height; LN: leaf number; LA: leaf area; and LAI: leaf area index.

結果

本研究以水稻品種臺農 67 號為試驗材料，利用調整栽植行株距形成 8 種栽植密度，探討田間栽植密度對稻株生長行為與產量之影響。綜合 2006 及 2007 兩年四期稻作試驗資料，顯示稻株生長性狀在生育期間呈現二次曲線變化，由最低的栽植密度 0.28×10^5 hill ha^{-1} 至最高的栽植密度 2.78×10^5 hill ha^{-1}，大致隨著單位面積栽植密度的升高各性狀測值均有增加的趨勢，無論株高(PH)、葉片數(LN)、葉面積(LA)與葉面積指數(LAI)皆然(Figs. 1A、1B)，且一般以一期作曲線較高於二期作曲線。

進一步由 50%抽穗時期所量測之生長性狀間比較，除了 PH 似不受栽植密度高低影響之外，LN、LA 及 LAI 等三性狀測值亦隨著栽植密度升高而呈曲線增加，約在栽植密度 1.8~2.2 $\times 10^5$ hill ha^{-1} 範圍達到飽和高原(Fig. 2)，而一期稻作測值多大於二期稻作。又稻株之 PH 伸長至成熟期才達到高峰，LN、LA 及 LAI 等三性狀在生育期間之最大

生長量約出現於抽穗前後，惟各栽植密度之性狀最大值並不相同(Figs. 1A、1B)。經圖繪各性狀之最大值後發現，除了 PH 之外，另三生長性狀最大值亦大致隨著栽植密度升高而曲線增加，多在 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 栽植密度範圍達到高原期(Fig. 3)，然而同一性狀最大值在年份及期作之間存在差異。

另外，各栽植密度之生長性狀最大值出

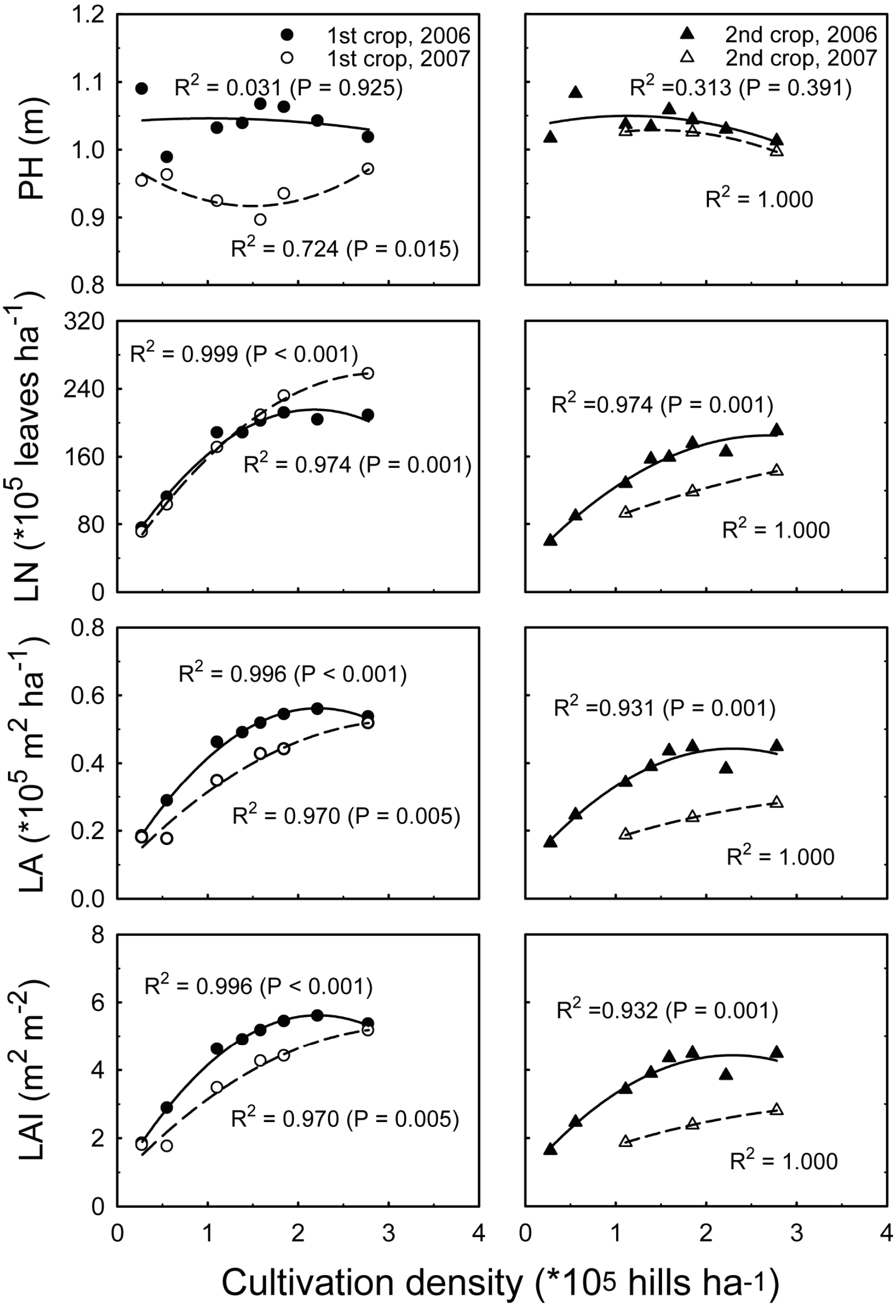

Fig. 2. Differences in growth traits measured at 50% heading for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 2006 and 2007, respectively.

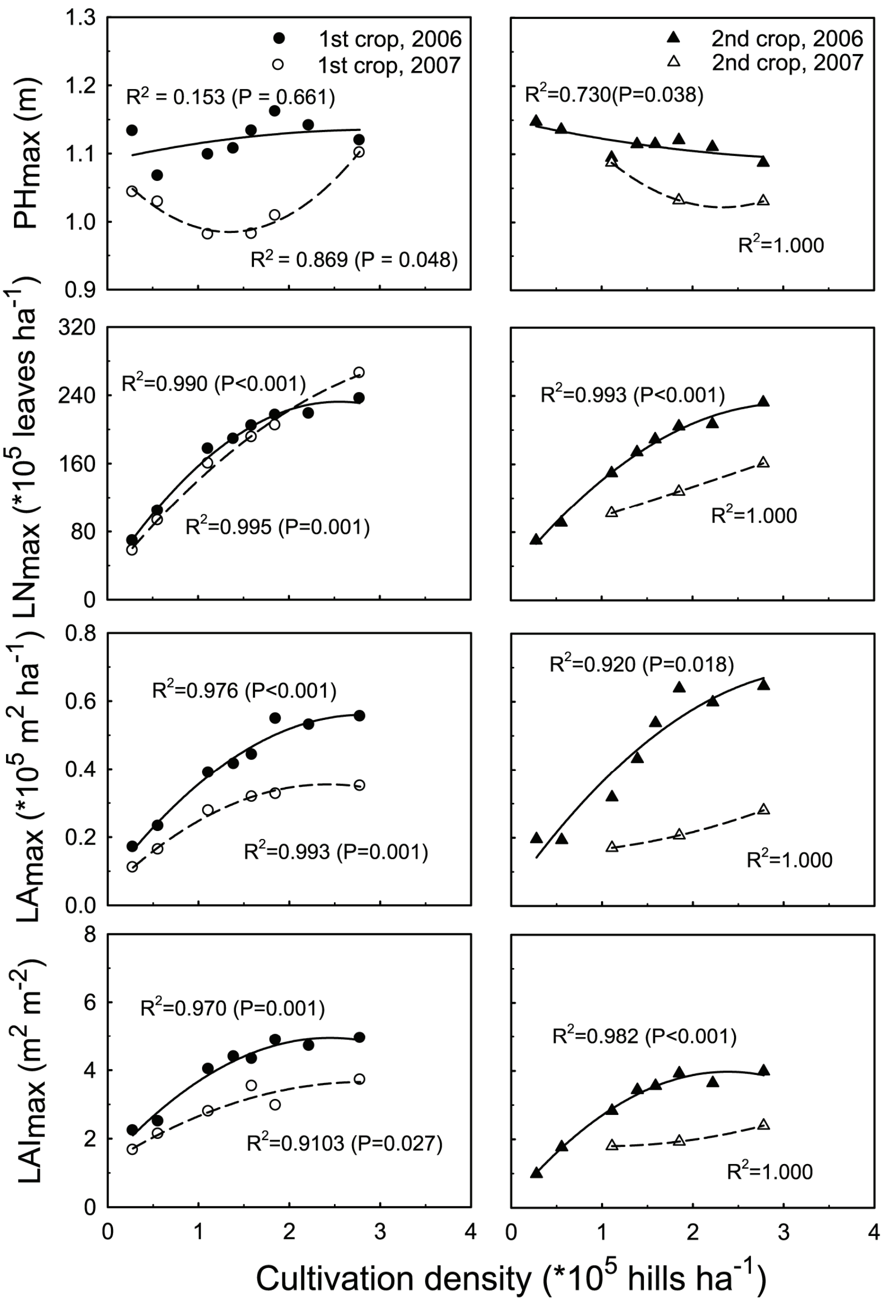

Fig. 3. The maximum values of growth traits for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 2006 and 2007, respectively.

現的時間並不相同，除了 PH 之外，LN、LA 及 LAI 等三性狀低栽植密度之最大值出現所需天數大多長於高族群密度者，尤以一期稻作最為明顯，且約在栽植密度 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 範圍趨近固定(Fig. 4)。又在相同栽植密度下，此三生長性狀在二期稻作達到最大值所需天數通常短於一期稻作，且在年份之間存在差異。

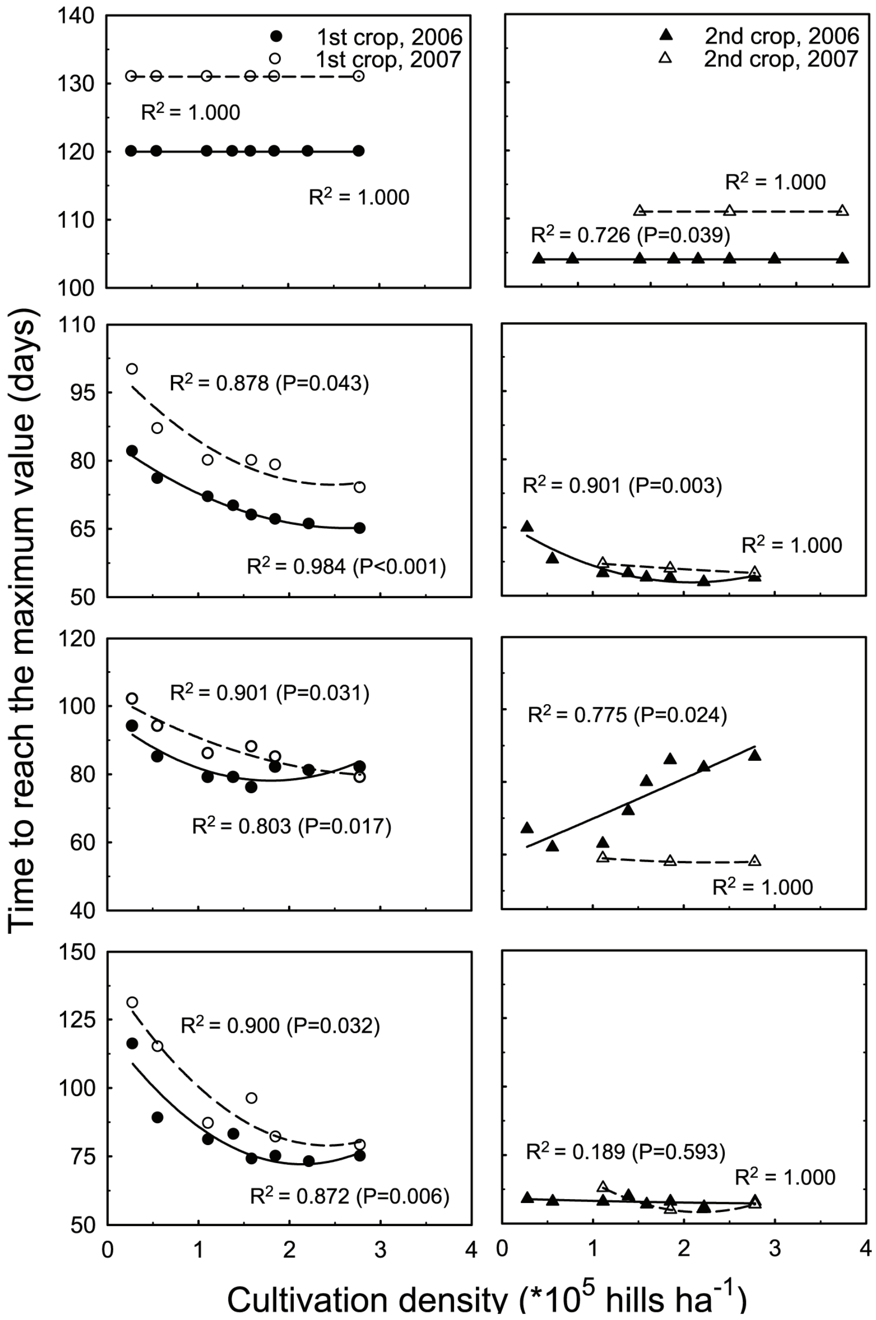

Fig. 4. The time required to reach the maximum values of growth traits for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 2006 and 2007, respectively.

試驗又顯示，水稻葉面積持續期間(LAD)隨著栽植密度的升高而呈曲線增加，直至栽植密度 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 時漸趨和緩(Fig. 5)。接著分析穀粒產量與 LAD 之關係，發現兩者呈現曲線正相關，穀粒產量隨著葉面積持續期的延長而增加，兩期稻作表現雷同(Fig. 6)。

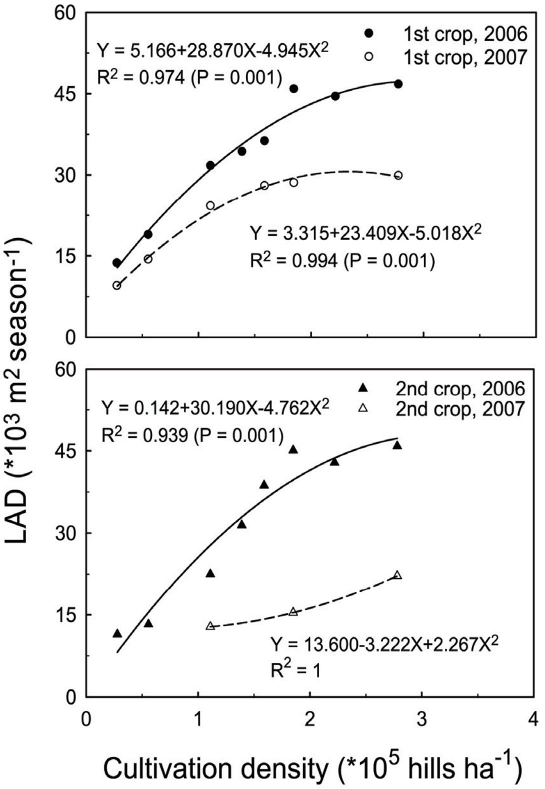

Fig. 5. Differences in leaf area duration (LAD) for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping season of 2006 and 2007, respectively.

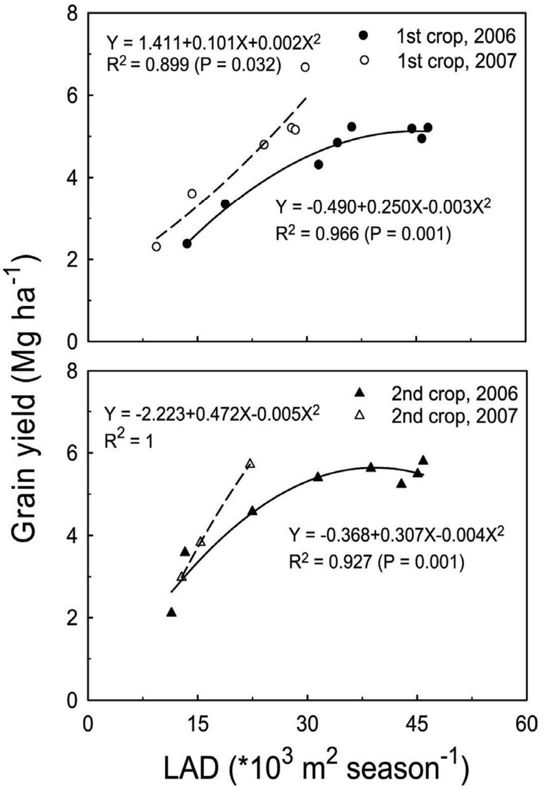

Fig. 6. Changes of grain yield in response to leaf area duration (LAD) for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping season of 2006 and 2007, respectively.

討論

本研究以水稻品種臺農 67 號為試材，利用調整栽植行株距形成之 8 種族群密度，探討稻田族群密度對稻株生長行為與產量之影響。綜合 2006 及 2007 兩年四期稻作試驗資料，顯示田間稻株生長性狀在全生育期間呈現二次曲線變化，且隨著單位面積栽植密度的升高各性狀測值均有增加的趨勢，無論株高(PH)、葉片數(LN)、葉面積(LA)及葉面積指數(LAI)皆然(Figs. 1A 及 1B)。除了株高之外，由最低的栽植密度 0.28 × 10^5 hill ha^{-1} 至最高的栽植密度 2.78 × 10^5 hill ha^{-1}，各量測性狀之生長曲線均有明顯差異。而在相同栽植密度之下，生長曲線在同期作的不同年份之間，或者同年份的不同期作之間，亦皆呈現差異。由此顯示，栽植密度及環境效應(Maddonni *et al.* 2001, Amanullah *et al.* 2007)都會影響稻株的生長，而此影響反應在生長隨時間之動態變化。若比較相同栽植密度在同一年份之兩期作生長曲線，LN、LA 及 LAI 等三項性狀通常以一期作曲線較高於二期作。進一步比較 50%抽穗時期所量測之各項生長性狀，除了株高之外，各性狀生長量大致隨著栽植密度升高而呈現曲線增加，惟約在栽植密度 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 範圍達到飽和高原(Fig. 2)。由圖示，相同栽植密度在不同期作及年份，各生長性狀均顯示差異，再次證明栽植密度及環境效應皆為稻株生長之影響因素。又相同栽植密度之 LN、LA

及 LAI 等三項性狀之一期作測值均明顯高於二期作測值，可推知本試驗期間一期作環境較適合參試稻種(TNG 67)生長潛能之發揮。

調整田間栽植密度，將會影響作物植冠結構及植被的發展，同時改變稻株對資源的利用效率及光合產物的生成與分配，當然也將造成作物生長發育模式的變化(Casal *et al.* 1985)，因此栽植密度的調整係作物栽培管理一個相當重要的手段。由本試驗採行的八種栽植密度，雖然略有促進 PH 效果，但是均呈現拋物線狀曲線而在成熟期達到高原期(Figs. 1A、1B)，類似玉米植株的 PH 表現(Tetio-Kagho and Gardner 1988, Maddonni *et al.* 2001)，Tsai (1987)在水稻栽植密度試驗中也報導 PH 在稻株進入乳熟期後即不再顯著增加。在 LN、LA 及 LAI 方面，由於單位稻田面積株數的增加而提高 LN，因此 LA 及 LAI 自然也隨著升高。雖然 Maddonni *et al.* (2001)指出低栽植密度之單葉葉面積大於高栽植密度者，然而高栽植密度所大幅增加的稻株數及葉片數使得單位稻田面積之總葉面積亦大幅增加，並因此提高了植被 LAI、促進了稻株營養生長(Westgate *et al.* 1997)，本試驗即獲得此一相似結果。

又稻株之株高伸長於成熟期達到高峰，而 LN、LA 及 LAI 等三項性狀則於抽穗前後發展出最大生長量，惟生長性狀之最大值視栽植密度、期作及年份而異(Figs. 1A、1B)。除了株高之外，其他三生長性狀最大值大致亦隨著栽植密度升高而呈現曲線增加，也在栽植密度 $1.8\sim2.2 \times 10^5$ hill ha^{-1}範圍達到高原期(Fig. 3)。又因最大值在年份及期作之間存在差異，在相同的栽培管理措施下，顯見氣象環境的變異將會影響稻株生長潛力。另外，各栽植密度之生長性狀達到最大值所需時間並不相同，除了株高，通常低栽植密度達到生長性狀最大值所需天數長於高栽植密度者，尤以一期稻作植株最為明顯，且約在栽植密度 $1.8\sim2.2 \times 10^5$ hill ha^{-1}範圍天數趨近固定(Fig. 4)。可推知在較為寬廣之生長空間情況，稻株之間的相互約制及競爭較少，較能發揮個別單株之生長潛力，因而達最大生長量所需時間相對較長。又在相同栽植密度下，二期稻作之生長性狀達到最大值所需時間大多短於一期稻作者，年份之間並存在差異，可知氣象環境變異同時影響稻株生長潛力及生長速率。在生長前期相對於一期作具有較高氣溫及光輻射量之環境下，二期作稻株的生長速率較快，使其達最大生長量所需時間短於一期作稻株。

由於栽植密度將會影響個別植株之營養生長與生殖生長，自然也和這些期間乾物質的累積及分佈有關(Otegui and Andrade 2000)。在低栽植密度之個別植株獲得較多得資源供應，超出最適栽植密度時個別植株之間則將有較大的競爭壓力，獲得相對較少的資源，在植株進入生殖生長期後將不利於生產(Sangoi *et al.* 2002)。Edmeades and Lafitte (1993)指出玉米在 50%抽絲期，較高栽植密度之單株穀粒數少於低栽植密度單株。本項水稻試驗結果亦有類似發現，栽植密度超過 $1.8\sim2.2 \times 10^5$ hills ha^{-1}時各生長性狀已不再隨密度明顯增加，此時期維持良好的葉片持續期間才有助於提高產量。本試驗結果顯示，水稻葉面積持續期間(LAD)隨著栽植密度的升高而增加，直至栽植密度約 $1.8\sim2.2 \times 10^5$ hill ha^{-1}時漸趨和緩(Fig. 5)。因此，提高田間栽植密度有助於增加單位面積 LAD，試驗期間所測得之最大 LAD 可達 46.69×10^3 m^2 ha^{-1}，最低為 9.43×10^3 m^2 ha^{-1}，差距近 5 倍。造成差距之原因可能與個別單株之葉面數及單葉之葉面積都有關係，Maddonni *et al.* (2001)即指出栽植密度會改變葉片角度與長寬比例，進而影響葉面積及葉片在植被立體結構中之相互重疊遮陰，而在不同遮蔭程度之下葉片型態及光合作用率將會改變(Kaspervauer and Kaelen 1994)。Pilbeam *et al.* (1991)在蠶豆試驗上亦有類似結果，葉片數與葉面積均隨著栽植密度的提升而增加。各栽植密度之稻株葉面積最大值

出現於抽穗期前後，Tetio-Kagho and Gardner (1988)在玉米的研究也發現同樣情形，然作者認為葉面積最大值與栽植密度無關，本試驗則發現栽植密度改變了稻株之葉面積最大值與達到該最大值所需天數。而期作及年份之間的差異，則反應了環境因素的效應。此外。增加栽植密度固有助於光線截取而利於葉片光合作用(Sangoi 2000)，過高的栽植密度卻也可能延遲開花、增加不結實率及減少單株粒數(Sangoi *et al.* 2002)。

經檢視穀粒產量與 LAD 之關係，發現兩者之間呈現曲線正相關，穀粒產量隨著 LAD 的延長而曲線增加(Fig. 6)。由此推知，提升栽植密度將可經由增加稻株葉面積的持續期間來延長光合成期限及總容量，進而助益於穀粒的充實及最終的產量表現，而且此種現象在一、二期稻作皆具成效。以參試稻種 TNG 67 而言，栽植密度提升至 1.8~2.2 × 10^5 hill ha^{-1} 時，即對穀粒產量帶來顯著效果(可超過 5 Mg ha^{-1})，在相同栽培條件下，若進一步升高栽植密度並無助於增加穀粒產量。又從前述 LAD 與栽植密度關係(Fig. 5)及穀粒產量與 LAD 關係(Fig. 6)之比較後發現，雖然相同栽植密度未必在一、二期作獲得 LAD 近似值，且又存在年份間差異，但是同一 LAD 範圍卻可得到相近之穀粒產量。所以，若能採行人為栽培管理措施(如調整施肥、行株距、栽植期、灌溉等)來維持較長 LAD，配合對環境資源的充分利用，將有利於穀粒生產，也可克服或減少環境在期作及年份間產生之不等效應。然而本研究並未探討水稻各生育期 LAD 之個別作用，僅累加全生育期資料，是否不同生育階段之 LAD 會與產量之間有不等強度之關係，尚待未來試驗釐清。

引用文獻

Amanullah J, MJ Hassan, K Nawab, A Ali (2007) Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. **World Appl. Sci. J.** 2:235-243.

Berenguer MJ, JM Faci (2001) Sorghum (*Sorghum Bicolor L. Moench*) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. **Eur. J. Agron.** 15:43-55.

Bhullar MS, LK Saini, ML Kapur, S Singh (2002) Effect of method and density of planting on growth and yield of late planted sugarcane. **Sugar Tech.** 4:181-184.

Casal JJ, VA Deregibus, RA Sanchez (1985) Variations in tiller dynamics and morphlogy in *Loium multiforum* Lam. vegetable and reproductive plants as affected by differences in red/far-red irradiation. **Ann. Bot. London.** 56:533-559.

Danalatos NG, SV Archontoulis, I Mitsios (2007) Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus* X *giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. **Biomass Bioenergy** 31:145-152.

Edmeades GO, HR Lafitte (1993) Defoliation and plant density effect on maize selected for reduced plant height. **Agron. J.** 85:850-857.

Fiseher KS, GL Wilson (1975) Studies of grain production in *sorghum bicolor* (L. Moench). V. effect of planting density on growth and yield. **Aust. J. Agric. Res.** 26:31-41.

Kasperbauer MJ, DL Karlen (1994) Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedling. **Crop Sci.** 34:1564- 1569.

Maddonni GA, ME Otegui, AG Cirilb (2001) Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and attenuation. **Field Crops Res.** 71:183-193.

Manrique LA, JR Kiniry, T Hodes, DS Axness (1991) Dry matter production and radiation interception of potato. **Crop Sci.** 31:1044-1049.

Otegui M, FH Andrade (2000) New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. p.89-102. *In:* **Physiology and Modeling Kernel Set in Maize.** ME Westgate, KJ Boote (Eds.) CSSA, Masison, WI, USA.

Pilbeam CJ, PD Hebblethwaite, TE Nyongesa, HE Ricketts (1991) Effect of plant population

density on determinate and indeterminate forms of winter field bean (*Vicia faba*) 2. Growth and development. **J. Agric. Sci.** 116:385-393.

Pospišil M, A Pospišil, M Rastija (2000) Effect of plant density and nitrogen rates upon the leaf area of seed sugar beet on seed yield and quality. **Eur. J. Agron.** 12:69-78.

Potter JR, JW Jones (1977) Leaf are partitioning as an important factor in growth. **Plant Physiol.** 50:10-14.

Sangoi L (2000) Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ci. Rur.** 31:159-168.

Sangoi L, MA Gracietti, C Rampazzo, P Biznchetti (2002) Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Res.** 79:39-51.

Sawan ZM, SA Hafez, AE Basyony (2001) Effect of nitrogen fertilization and foliar application of plant growth retardants and zinc on cotton seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. **J. Agron. Crop Sci.** 186:183-191.

Schäfer T, B Honermeier (2006) Effect of sowing date and plant density on the cell morphology of hemp (*Cannabis sativa* L.). **Ind. Crops Prod.** 23:88-98.

Tetio-Kangho F, FP Gardner (1988) Responses of maize to plant density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. **Agron.** J. 80:930-935.

Tsai JC (1987) Effect of cultural methods on the yield and some physiological characters of rice varieties differing in growth weight. (in Chinese with English abstract) **J. Agric. Res. China.** 36:63-74.

Wang Z, J Fu, M He, Y Yin, H Cao (1997) Planting density effect on assimilation and partition of photosynthates during grain filling in the late-sown wheat. **Photosynthetica** 33:199-204.

Westgate ME, F Forcell, DD Reicosky, J Somsen (1997) Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Res.** 49:249-258.

－編輯：陳宗禮